

运动模糊图像的质量分析与评价*

田茂新, 田启川

(太原科技大学 电子信息工程学院, 山西 太原 030024)

摘要: 提出了一种新的图像质量评价标准, 通过图像的运动模糊参数来估计出图像由于运动而造成的信息损失量, 并通过信息损失的多少来评价图像的质量。实验表明, 该方法能客观地体现出运动模糊图像的质量与运动模糊参数之间的关系, 这种关系对于图像的质量评价特别是有参考条件下的图像质量评价具有良好的效果。同时还根据活动度和图像灰度梯度能客观地表示图像细节部分的特性。将图像分块, 并从8个方向对图像进行分析, 客观地评价出无参考条件下直线运动模糊图像的质量。

关键词: 质量评价; 运动模糊参数; 信息损失; 直线运动模糊; 活动度

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)13-0025-04

Quality analysis and evaluation of motion blur image

Tian Maoxin, Tian Qichuan

(College of Electronic and Information Engineering, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: A new standards of image quality evaluation is presented in this paper, which estimates the information loss of the image that caused by the motion based on the motion blur parameters to evaluate the image quality. Experiment results showed that this method can reflect the relationship between the quality of motion blurred image and the motion blur parameters objectively. And it is proved to be effective especially for the reference-image. According to the active measure and gray-level gradient, it can show the characteristics of the detail of the image. It is segmented into blocks, analyse the image from eight directions, and assess the no-reference blurred images which caused by linear motion objectively.

Key words: quality evaluation; motion blur parameters; information loss; linear motion blur; active measure

图像的去模糊是图像处理中的一个重要分支, 在获取图像过程中, 由于物体与相机之间的相对运动会造成得到的图像总会有一定程度的模糊。在现实生活中, 运动模糊图像广泛存在, 图像会因为摄像者与对象之间的角度和物体与相机之间的相对运动速度等的差异而导致所得到的运动模糊图像有着不同的质量, 这种差异即为图像的运动模糊参数的差异。找出图像的质量与其运动模糊参数之间的关系具有重要的意义。因为在去除这些模糊之前往往要通过一定的评价来估计出图像的质量, 能否准确地估计出图像质量对图像后期的去模糊处理有着重要的意义。

目前大多数情况下, 对模糊图像的质量评价一般采用主观的评价方法, 但是主观评价不能建立一定的数学

模型, 而且由于主观差异的存在, 不同人的知识背景和主观目的、兴趣等的不同而得出不同的结论, 不能适用于很多场合。而客观质量的评价方法大致可以分为无参考图像的质量评价和有参考图像的质量评价。

1 传统的图像质量分析算法

图像的质量分析一般为有参考条件下的质量分析和无参考条件下的质量分析两种^[1-4]。无参考判断图像的质量评价是指在不借助任何参考图像的前提下, 对模糊图像的质量进行评价。而有参考图像的质量评价是指将模糊的图像与参考图像(即原图像)进行对比, 得出图像的质量。

传统的图像质量分析算法:

(1) 梯度函数。在数字图像中, 图像的梯度函数可以用来对图像进行图像的边缘提取及其图像的二值化, 一

* 基金项目: 山西省自然科学基金资助项目(2008011030)

般来说,可以认为图像越是清晰,其图像的灰度就会变化越剧烈,就应该具有相对比较大的图像梯度值。

利用梯度函数估计图像的质量一般有灰度梯度能量函数、Robert 梯度和拉普拉斯(Laplacian)算子。下面以Laplacian(四邻域微分)算子和梯度幅值介绍图像的梯度函数的评价方法。

对于一幅图像,对图像中的每一个像素在 2×2 的邻域内采用 Laplacian 算子,得到四邻域微分值,然后再将得到的每一个微分值求和。Laplacian 算子(四邻域微分)的方法如下:

$$\nabla f(m, n) = [f(m+1, n) + f(m-1, n) + f(m, n+1) + f(m, n-1)] - 4f(m, n) \quad (1)$$

这样就可以得到:

$$\nabla = \sum_{(m, n \in I)} |\nabla f(m, n)| \quad (2)$$

对于一幅模糊图像,在每一个像素附近的灰度变化越小,则 ∇ 值就越小,则可以认为这幅图像的模糊度越大。

另外,可以在计算出每一个像素点的梯度变化值之后,对图像的梯度值分布情况进行统计,在小梯度值上,模糊图像的像素数大于清晰图像;而在较大的梯度值上,清晰图像的像素数明显大于模糊图像。为了更加准确地分析图像质量,通常给判别函数加上了一个阈值^[5],去掉梯度较小的值,这样就可以突出清晰度较大(即模糊度较小的)图像,可更加有效地提取出清晰度较大的图像。如下:

$$\nabla = \begin{cases} 0 & |\nabla f(m, n)| < w1 \\ |\nabla f(m, n)| & w1 \leq |\nabla f(m, n)| \leq w2 \\ 0 & |\nabla f(m, n)| > w2 \end{cases} \quad (3)$$

评价函数如下:

$$T = \sum |\nabla| \quad (4)$$

其中, T 值越大,图像越是清晰。但是利用梯度函数的方法只适用于图像灰度变化比较大的图像,对于具有单一内容的图像不是很精确。

(2) 相邻像素灰度方差法(SMD)

$$S = \frac{1}{mn} [\sum |I(m, n) - I(m, n-1)| + \sum |I(m, n) - I(m+1, n)|] \quad (5)$$

利用相邻像素之间的方差^[6]对图像的质量进行分析,图像质量越好,相邻像素点间的灰度差值就越大,从而 S 值也就越大。

(3) 基于图像相似度方法

这种方法主要是针对在有参考图像条件下的图像质量评价,图像的相似度^[7]主要利用均方差误差、平均绝对值误差、修正最大范数、多分辨率误差、均方信噪比及峰值信噪比等对图像的质量进行判断。此方法主要是将模糊图像与参考图像的各种特征进行比较,二者误差越小,它们的相似度就越大,然后通过与原图像的相似程度来判断图像的质量。以均方误差为例,一幅图像

中,其均方差为:

$$E = \frac{1}{mn} \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n (f(x, y) - f(\hat{x}, y))^2 \quad (6)$$

式中, $f(x, y)$ 为原始图像灰度, $f(\hat{x}, y)$ 为模糊图像灰度。 E 值越小,则图像的质量就越好。但这种方法很难客观地得到运动模糊参数与图像质量间的关系。

2 算法的实现

2.1 图像质量与运动模糊形式关系的分析

针对传统算法的缺陷,本文提出了一种有参考条件下的图像质量分析方法,该方法能准确评价图像质量并能客观反映图像质量与运动模糊参数间的关系。在无参考条件下,将图像分块,避免了传统的梯度函数在图像内容单一的情况下不能精确分析图像质量的缺陷。

(1) 直线运动模糊图像的边缘信息抛出量

在对图像拍摄过程中,由于物体的相对运动而造成图像模糊,此过程中由于像素点的运动,一部分像素点会从图像中损失掉。因像素点运动而损失掉的这部分信息称之为图像的边缘信息抛出量。

如图 1 所示,在一幅 $m \times n$ 的图像中,假设图像的运动模糊尺度是 l ,运动模糊方向与横轴成 θ° 角,那么在运动方向上末端长度 $\leq l-1$ 的像素点将从图像内跑掉。如图 1 中的一系列平行线。在运动方向末端跑掉的像素点为平行线构成的阴影部分,即图像在 (x, y) 像素点边缘信息抛出量为 $b(x, y)$:

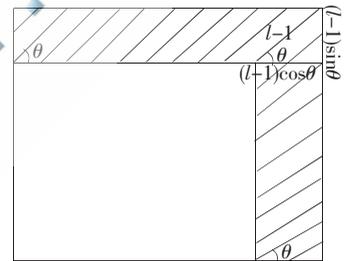


图1 图像的抛出量示意图

$$b(x, y) = \begin{cases} x \notin ((n-1)\sin \theta, n] \\ \text{且 } y \notin [1, (l-1)\cos \theta] \\ 0 \end{cases} \quad \text{其他} \quad (7)$$

如图 1 的图像的边缘信息抛出量占图像总信息量的比例反映了图像的像素点运动后图像的模糊度,即定义为图像的边缘信息抛出率。边缘信息抛出率越大,图像就越模糊;反之,图像就越清晰。即:

$$\eta = \sum b(x, y) / \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m I(x, y) \quad (8)$$

式中, $b(x, y)$ 是图像抛出点的边缘信息抛出量, $I(x, y)$ 是图像在像素点 (x, y) 的信息量。一般情况下,通过式(8)在有参考图像的条件下,只要估计出图像的运动模糊参数就可估计出图像的质量。

(2) 统计边缘信息

一幅图像的主要信息,主要是通过其边缘信息量的多少来显示,边缘不明显的图像,可以认为其模糊度越大。一幅 $m \times n$ 的图像,对其进行边缘提取之后,图像中所显示的轮廓信息就是其包含的信息量。即边缘信息量:

$$A = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a(i, j) \quad (9)$$

式中, $a(i, j)$ 表示统计出的图像边缘信息量。在一幅图像内, 单位面积的边缘信息分布量(即图像的活跃度)就可以表示为:

$$\mu = \frac{A}{mn} \quad (10)$$

μ 的大小反了图像边缘信息的多少, μ 值越小, 图像所包含的边缘信息就越小; 反之, 图像就包含较多的边缘信息。

(3) 图像的质量与运动模糊参数的关系

分析图像的质量与图像的运动模糊参数的关系实现步骤如下:

- ① 估计出图像的运动模糊参数。
- ② 建立如图 1 所示的图像运动模型。
- ③ 将原始图按所建立的模型分块成图 1 中所示的斜线阴影和空白两个部分。
- ④ 分别估算出图像的阴影部分的信息量及图像总的信息量。
- ⑤ 按照式(8)计算出图像边缘信息抛出率 η 。
- ⑥ 根据得到的边缘信息抛出率对图像进行分析并得出图像的质量与 η 的关系。

2.2 图像质量的估计

(1) 图像梯度方向的均方差变化量

图像的运动模糊过程中, 由于像素点的移动而导致图像灰度发生了变化, 损失了一定的边缘信息, 其中较为显著的变化就是平滑了图像的灰度, 使图像的边缘轮廓信息变得模糊。因为图像的运动而导致的图像的灰度损失越严重, 图像相邻像素点间的均方差就越小, 图像就越是模糊。本文采用求取一阶微分导数的方法计算出图像梯度方向的灰度均方差变化量。为了更加精确, 本文算法采取从 8 个方向分别对图像进行分析, 如图 2 所示。

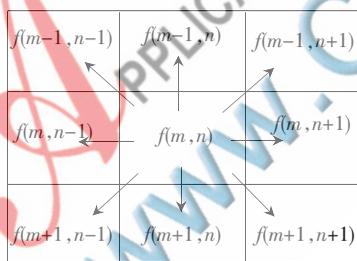


图 2 8 个方向的灰度梯度变化

$$\begin{aligned} \nabla = & S[f(m, n), f(m-1, n+1)] + S[f(m, n), f(m-1, n)] + \\ & S[f(m, n), f(m-1, n-1)] + S[f(m, n), f(m, n)-1] + \\ & S[f(m, n), f(m+1, n-1)] + S[f(m, n), f(m+1, n)] + \\ & S[f(m, n), f(m+1, n+1)] + S[f(m, n), f(m, n+1)] \quad (11) \end{aligned}$$

则一小块的平均均方误差为:

$$S = \nabla / 8 \quad (12)$$

S 的值越大, 图像因为运动而损失的边缘信息就越少, 图像就越清晰; 反之, 图像就越模糊。

(2) 图像质量的计算

对于一幅 $m \times n$ 图像模糊度的计算过程如下:

(1) 按图 2 将图像分成 3×3 的小块。

(2) 按式(11)、式(12)分别从 8 个方向计算模糊图像每一个小块的均方差 S_i 。

(3) 按式(9)、式(10)计算图像的每一小块动度 D_i 和边缘活动度 μ 。

(4) 计算图像的清晰度:

$$IDD = (\mu \sum_{i=1}^k S_i D_i) / 8k \quad (13)$$

其中, k 为图像的分块数, 同一幅图像中, IDD 的值越大, 图像的质量就越好。

3 实验结果及分析

为了验证图像的信息抛出率与运动模糊参数的关系及其能否对图像进行客观反映, 选取 baboon、woman 两幅图像, 分别进行不同运动模糊参数的模糊。在试验图像中, baboon、woman 运动模糊方向取任意角度, 分别为 0° 和 60° , 每一幅图像模糊尺度均选取 5、10、15、20、25 个像素点, 结果如图 3、图 4 所示。并将图像的清晰度与 IDD、活动度 μ 与 Laplacian(四邻域微分)算子进行比较, 并分别计算出其 η 。比较结果分别如表 1、表 2 所示。

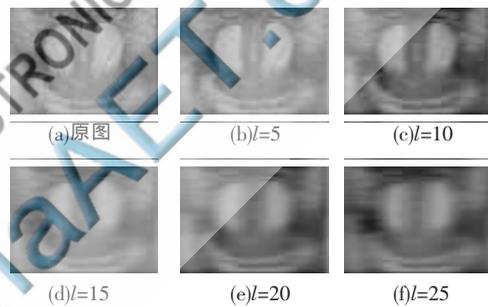


图 3 baboon 原图及不同模糊长度的模糊图

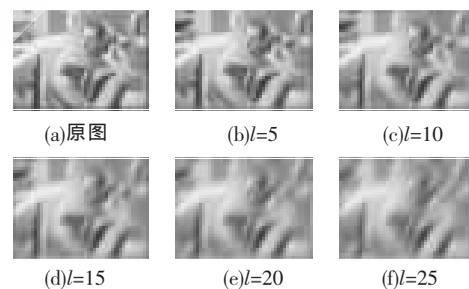


图 4 woman 原图及不同模糊长度的模糊图

表 1 baboon 不同算法的结果比较

baboon (图 3)	算法		
	IDD	μ	Laplacian(四邻域微分)
(a)	0.785 1	0.200 4	1 736 481
(b)	0.527 5	0.168 4	686 951
(c)	0.391 3	0.150 7	465 605
(d)	0.362 7	0.148 9	394 653
(e)	0.339 2	0.146 8	335 209
(f)	0.313 6	0.144 5	306 978

表2 woman 不同算法的结果比较

woman (图4)	算法		
	IDD	μ	Laplacian(四邻域微分)
(a)	0.7504	0.1614	1 197 444
(b)	0.3729	0.1563	370 761
(c)	0.3345	0.1410	243 675
(d)	0.2699	0.1374	197 550
(e)	0.2247	0.1361	169 668
(f)	0.1666	0.1322	15 301

由表1、表2可看出,在不同算法下,图像的质量呈现出一致的趋势,说明图3、图4中图像的质量从(a)~(f)是由好到差。根据图1所示的原理,分别计算它们的 η 值,其结果如表3所示。

表3 baboon 和 woman 原图及不同模糊图的 η 值

图像 (图3、图4)	η	
	baboon	woman
(a)	0	0
(b)	0.0327	0.0626
(c)	0.0509	0.0947
(d)	0.0700	0.1631
(e)	0.0957	0.1895
(f)	0.1243	0.2255

由表3可以看出,在以(a)图作为参考的情况下,图3、图4的变化趋势与表1、表2中的算法保持一致。为了更好地验证 η 的性质,选取lena和cameraman两幅图像分别进行模糊尺度为5和10个像素,模糊方向分别为30°、45°和60°的计算。其结果分别如表4、表5所示。

从图3~图6的实验结果中可以看到,图像的边缘信息抛出率变化趋势与图像中质量是呈现出一致的变化趋势。因此,在比较运动模糊图像时,可以通过这一规律快速估计得到图像质量。为了比较图像的质量与图像的信息抛出率之间的关系,先将图3~图6中能客观评价图像质量的IDD值进行处理,以图(a)为参考, e 为不同运动模糊图像质量的IDD值与原始图像质量IDD的比值。比较结果如表6、表7所示。

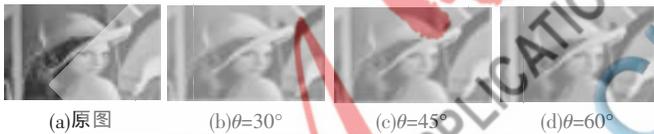


图5 lena $t=5$ 下,不同模糊方向的模糊图

表4 lena 不同算法的结果比较

lena (图5)	算法			
	η	IDD	μ	Laplacian(四邻域微分)
(a)	0	0.1897	0.1189	451 696
(b)	0.0469	0.1244	0.1071	211 191
(c)	0.0489	0.1230	0.1060	209 892
(d)	0.0447	0.1273	0.1083	221 887



图6 cameraman $t=10$,下不同模糊方向的模糊图

表5 camera 不同算法的结果比较

cameraman (图6)	算法			
	η	IDD	μ	Laplacian(四邻域微分)
(a)	0	0.3793	0.1124	524 143
(b)	0.0708	0.1667	0.0925	134 611
(c)	0.0688	0.1777	0.0938	135 661
(d)	0.0607	0.1793	0.0967	142 862

表6 baboon 与 woman 的值

图像 (图3、图4)	e	
	baboon	woman
(a)	1	1
(b)	0.6719	0.4696
(c)	0.4984	0.4458
(d)	0.4620	0.3598
(e)	0.4320	0.2994
(f)	0.3994	0.2220

表7 lena 与 cameraman 的值

图像 (图5、图6)	e	
	lena	cameraman
(a)	1	1
(b)	0.6558	0.4395
(c)	0.6484	0.4685
(d)	0.6710	0.4726

通过对图3~图6图像的分析可以看出,在同一幅图像下,由于运动而导致的模糊图像中,越是模糊的图像的边缘信息抛出率 η 越大。而对于不同的图像,可以通过计算 η 来比较其质量, η 越小,图像越清晰,则 e 越大,与图像的内容没有关系。在这一规律情况下,对有参考条件下的直线运动图像模糊度估计,只需要估计出图像的运动模糊参数,就可以通过原始图像按图1分块,计算边缘信息抛出率即可以估计出图像的质量。而且根据这一规律,也可以计算出图像在哪个方向角具有最大的模糊度,不同的图像最大模糊度所具有的方向角是不同的,这要看图像在哪个方向角运动下的 η 值最大。

本文在分块和边缘活动度的基础上,提出了计算图像清晰度的方法,并以一种新的通过估计边缘信息的损失为基础的方法对图像进行分析,与各种算法进行比较。实验表明,该方法能客观地评价出图像的质量,而且能准确地估计出同一运动尺度下图像在哪个方向下具有最大的模糊度。该方法在对于有参考情况下的图像模糊度评价更直观,具有很好的效果。

参考文献

- [1] WANG Z, BOVIK A C, LU L. Why is image quality assessment so difficult[C]. ICASSP. Florida: IEEE,2002:3313-3316.
- [2] LUKICIC T, GRGIC S. Telecine calibration and image quality evaluation[C]. ELAMAR 05. Zadar, Croatia: IEEE, 2005:77-81.
- [3] 韦学辉.图像及视频的若干研究[D].杭州:浙江大学,2008.
- [4] 商文.空域无参考的图像质量评价[D].南昌:江西财经大学,2006.
- [5] 朱孔凤,姜威,王瑞芳,等.一种新的图像清晰度评价函数[J].红外与激光工程,2005,34(4):464-468.
- [6] 许贵力,刘小霞.一种图像清晰度评价方法[J].红外与激光工程,2009,38(1):180-184.
- [7] 杨春玲,高文瑞.基于机构相似的小波域图像质量评价方法的研究[J].电子学报,2009,37(4):845-849.

(收稿日期:2011-03-04)

作者简介:

田茂新,女,1987年生,硕士研究生,主要研究方向:图像评价及处理。

田启川,男,1971年生,博士后,副教授,主要研究方向:模式识别,图像处理及生物特征识别。